

Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto

Dyner Luis, Drago Silvina R., Piñeiro Adriana, Sánchez Hugo, González Rolando, Villaamil Edda, Valencia Mirta E.

Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Instituto de Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina

RESUMEN. El amaranto es un cultivo americano autóctono actualmente revalorizado por su elevado potencial alimentario. Los minerales aportados por el grano son cuantitativamente importantes. Sin embargo, la presencia de fitatos en los tegumentos externos del grano hace necesaria la evaluación de la biodisponibilidad de los minerales de interés nutricional pues la harina se obtiene por molienda integral. El proceso de fermentación del pan, sumado al agregado de fitasas y promotores de la dializabilidad mineral, podría mejorar la biodisponibilidad mineral. El objetivo del trabajo fue establecer el porcentaje de proteínas, cenizas, lípidos, fibra dietaria total (FDT), Fe, Zn y Ca y estudiar la dializabilidad de esos minerales - como indicadora de su biodisponibilidad - en panes y fideos elaborados con 100% harina de trigo (HT) y con 20% de reemplazo de HT por harina integral de amaranto (HIA). Como promotores de la biodisponibilidad mineral se utilizaron ácidos ascórbico (AA) y cítrico (AC) y fitasa. Se estableció el aporte potencial (AP) de cada mineral como el producto de su concentración y dializabilidad. En los panes 80:20 se observó un incremento sustancial del contenido de FDT y minerales. El máximo APFe se obtuvo en panes 80:20 con AC y fitasa (0,55 mg%). En fideos, el máximo efecto se observó con AC (0,07 mg%). El APCa fue máximo en fideos 80:20 con AC (16,72 mg%). El mayor APZn se evidenció en pan 80:20 con AC y fitasa (0,40 mg%). La introducción de la HIA en productos panificados fermentados con adición de AC y fitasas permite obtener ventajas nutricionales.

Palabras clave: Amaranto, dializabilidad mineral, hierro, calcio, zinc.

INTRODUCCION

El amaranto se cultiva en América desde hace unos 5.000 años. La primera civilización en explotarlo como un cultivo altamente productivo fue la maya, de quienes los incas y aztecas aprendieron su cultivo y consumo. Se estima que cuando los españoles llegaron a América la producción anual de granos de amaranto superaba las 15.000 toneladas y además formaba parte de los tributos que estos imperios cobraban a los pueblos sometidos. El consumo del amaranto estaba muy arraigado entre los aztecas y era considerado un alimento ritual. Consecuentemente, los colonizadores prohibieron el cultivo

SUMMARY. Composition and potential contribution of iron, calcium and zinc of bread and pasta made with wheat and amaranth flours. Amaranth, a traditional american crop that is nowadays given renewed importance, has good food potential value. The minerals contributed by the grain are quantitatively important. However, as the flour is obtained by total grinding of the grain, this process leads to the presence of anti-nutritional components, such as fitates, and therefore, the evaluation of the actual availability of the minerals of nutritional interest becomes necessary. The process of bread fermentation, plus the addition of fitases and enhancers of mineral availability such as citric and ascorbic acid, might improve mineral bioavailability. The objective of this work was to assess protein, ash, lipids and total dietary fiber content and evaluate the concentration and dialyzability of Fe, Zn and Ca (as mineral bioavailability indicator) in bread and pasta 100% wheat, and bread and pasta obtained by replacing 20% wheat flour (WF) with whole amaranth flour (WAF). Ascorbic acid (AA), citric acid (CA) and fitase were used as mineral bioavailability enhancers. The potential contribution of each mineral (PC) was calculated as each mineral concentration times its dialyzability. In 80:20 bread an increase of total dietary fiber and minerals, compared to 100% wheat products was observed. A maximum FePC in 80:20 bread was obtained with CA and fitase (0.55mg%). In pasta, the maximum effect was observed with CA (0.07 mg%). The CaPC was maximum in 80:20 pasta with CA (16.72 mg%). The greatest ZnPC was found in 80:20 bread with CA and fitase (0.40 mg%). The introduction of the WAF in fermented baked products with addition of CA and fitase allows to obtain nutritional advantages.

Key words: Amaranth, mineral dialyzability, iron, calcium, zinc.

y uso del amaranto por ser un gran impedimento en la conquista de América. Este hecho, sumado a la sustitución de los cultivos autóctonos por los europeos, redujo de manera significativa la producción del amaranto manteniéndose su producción en zonas de difícil acceso (1-4).

El amaranto es un cultivo anual, altamente eficiente y de rápido crecimiento, que puede desarrollarse entre 0 a 3.300 metros sobre el nivel del mar y prosperar en condiciones agronómicas adversas (sequía, altas y bajas temperaturas, suelos salinos, ácidos o alcalinos), adaptándose fácilmente a distintos ambientes. Con un contenido de proteínas cercano al 16%, el grano de amaranto se compara muy favorablemente

con el trigo (12-14%), arroz (7-10%), maíz (9-10%) y otros cereales de consumo habitual. Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y, por lo tanto, un complemento nutricional óptimo para los cereales convencionales deficientes en ese aminoácido. El grano de amaranto, de forma lenticular, tiene un diámetro de 1-1,5 mm. El embrión es anular y circunda externamente a todo el perispermo. Técnicamente es considerado un pseudocereal debido a sus características similares a las de los cereales verdaderos de las monocotiledóneas. Su pequeño tamaño obliga a una molienda integral para la obtención de harinas, lo que conlleva a un aporte cuantitativamente importante de minerales (3-10). Sin embargo, por la presencia de fitatos, es necesario evaluar la real biodisponibilidad de los minerales de interés nutricional.

Por lo expuesto anteriormente y, dada la carencia de estudios sobre la biodisponibilidad de minerales del amaranto, se propuso estudiar el contenido de proteína, lípidos, minerales (expresados como cenizas), fibra dietaria total, hierro, calcio y zinc de panes y pastas (fideos secos) elaborados con un 100% de harina de trigo y con un 20% de reemplazo de harina de trigo por harina integral de amaranto para evaluar si ese porcentaje de sustitución mejora significativamente la calidad nutricional de los productos mezcla respecto de los controles 100% trigo.

Dado que la harina de amaranto proviene de la molienda integral del grano y que esto conlleva el aporte de minerales de interés nutricional y de fitatos, se consideró conveniente estudiar la dializabilidad y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de los productos antes mencionados y evaluar si se obtiene una mejora significativa en la biodisponibilidad de minerales por efecto del agregado de fitasas, la fermentación panaria, el proceso de elaboración de los fideos y el agregado de promotores de la biodisponibilidad mineral.

La dializabilidad, utilizada como un estimador de la biodisponibilidad, es la proporción de un elemento que difunde a través de una membrana semipermeable durante la etapa de digestión intestinal, después de un período que permitiría llegar al equilibrio. Se ha demostrado que la técnica de equilibrio de diálisis se puede utilizar para estimar muchos factores inhibidores o promotores de la absorción de hierro (11) y para examinar la influencia de procesos sobre la biodisponibilidad del hierro de un alimento (12).

Aunque ningún método *in vitro* puede reproducir las condiciones fisiológicas imperantes en los estudios *in vivo*, la técnica de dializabilidad demostró resultados similares a los obtenidos en estudios en humanos para hierro (11). Si bien sólo ha sido validado para el hierro, se utiliza también para medir disponibilidad de otros minerales tales como Zn, Ca, Mg y Cu.

Con respecto a zinc y calcio, varios autores observaron que esta técnica ha mostrado una buena correlación con

estudios *in vivo* (13-16). Kernefick y Cashman (17) encontraron que la técnica de dializabilidad puede ser un método de *screening* útil para evaluar el efecto de ciertos factores dietarios como fitatos, oxalato, fibra, lactosa y caseíno-fosfolípidos que afectan la absorción de calcio, dado que presenta buena correlación con los resultados de estudios *in vivo*.

MATERIALES Y METODOS

Materias primas y productos analizados

Harina de amaranto (*Amaranthus caudatus*) obtenida por molienda integral del grano (HIA) en un molino martillo (Retsch KG) con malla de 0.75 mm. Se realizó la molienda hasta que toda la muestra pasara por un tamiz de 420 μ m. Harina de trigo (*Triticum vulgare*) comercial con 75% de extracción (HT).

Productos

Pan y pastas (fideos secos). Se elaboraron productos 100% HT y 80:20 HT: HIA. Todos los productos fueron elaborados a nivel laboratorio en el Instituto de Tecnología de Alimentos (UNL).

Los fideos fueron obtenidos utilizando un extrusor Bravender 10 DN, con tornillo, a una velocidad de rotación de 60 rpm; se utilizó una boquilla de teflón de 1 mm. La temperatura de la masa durante la extrusión estuvo comprendida entre 35 - 40°C en todos los casos. La sémola de trigo y sus mezclas con los agregados fue acondicionada agregando agua para alcanzar una humedad de la mezcla de 36%; para ello se utilizó un mezclador planetario marca Bravender. Los fideos se secaron en estufa con corriente de aire a una temperatura de 40°C y humedad relativa de 75%.

Se agregaron como promotores de la biodisponibilidad mineral: ácido ascórbico (AA) 100 (pan control), 410 y 820 ppm (relación molar Fe:AA 1:1; 1:4 y 1:8 respectivamente), ácido cítrico (AC) 0,33% p/p (relación molar Fe:AC 1:30) y fitasa (F) 100 ppm (Sigma P-9792). Para el análisis de la dializabilidad de minerales de las pastas se procedió a su cocción previa en agua destilada a ebullición durante 10 minutos, utilizando una relación agua/pasta de 10/1 (p/p).

Métodos

Análisis de la composición de materias primas y productos

La determinación del contenido de agua, proteínas, lípidos, cenizas y fibra dietaria total (FDT) se realizó de acuerdo con la metodología especificada por la AOAC (18).

Los factores utilizados para transformar el porcentaje de nitrógeno en porcentaje de proteína en las materias primas y en los productos fueron:

f = 5,71 para HT, pan 100% trigo y fideos 100% trigo.

f = 5,85 para HIA.

Para los productos mezcla se utilizó f = 5,738. Este factor surge de la combinación de un 80% del factor correspondiente a la harina de trigo (5,71) y un 20% al especificado para la Harina Integral de Amaranto (5,85). Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Disponibilidad mineral in vitro y cuantificación de minerales

Se utilizó agua destilada y desionizada en todos los experimentos. El material utilizado se lavó con HNO₃ al 20%, se enjuagó con agua destilada y desionizada y se secó en estufa. Los reactivos utilizados fueron de calidad analítica.

Suspensión acuosa de a-amilasa: Se suspendieron 4 g de a-amilasa tipo VI-B (Sigma A-3176) en 60 ml de agua desionizada.

Suspensión acuosa de pepsina: Se suspendieron 16 g de pepsina (Sigma P-7000) en 100 ml HCl 0,1 N.

Suspensión acuosa de extracto de bilis / pancreatina: Se suspendieron 2,5 g de extracto de bilis (Sigma B-8631) y 0,4 g de pancreatina (Sigma P-1750) en 100 ml de NaHCO₃ 0,1%.

Buffer PIPES: Se disolvieron 5,19 g de PIPES [sal disódica de piperazina-N,N'-bis (ácido 2-etansulfónico)] (Sigma P-3768), en un volumen final de 100 ml con agua desionizada. El pH del buffer se ajustó previamente con HCl 6N según la metodología descrita por Wolfgor y col (19).

Bolsas de diálisis: Se utilizaron membranas de diálisis marca Spectra/Por® 1 (Spectrum Laboratories Inc., CA, Estados Unidos) de 14,6 mm de diámetro, 20 cm de longitud y cut-off de 6000-8000 Daltons. Se sumergieron en agua desionizada por lo menos 1 hora antes de su utilización.

Dializabilidad de minerales: La dializabilidad porcentual de Fe, Ca y Zn (DFe%, DCa% y DZn%) como indicadores de la biodisponibilidad potencial de cada mineral se determinó con el método *in vitro* de Miller y col. (20), modificado por Wolfgor y col. (19). La metodología incluye una digestión enzimática que simula el proceso fisiológico en condiciones controladas de pH y la posterior cuantificación de los minerales por espectrometría de absorción atómica – atomización en llama.

La primera etapa consistió en la digestión de alícuotas de homogeneizados (11,5 g de muestra en 38,5 ml de agua

desionizada) con 5 ml de la suspensión de a-amilasa durante 30 minutos a 37°C en un baño con agitación. Luego se reguló el pH a 2 con HCl 6 N para la digestión pepsínica. Se agregó 1,6 ml de la suspensión de pepsina y se continuó la incubación en un baño de temperatura controlada con agitación durante 2 h a 37°C. Finalizada la digestión se tomaron 2 alícuotas de 3 - 5 g del digerido para realizar su mineralización con 10 ml de una mezcla nitro-perclórica (50:50) durante 4 h a 120°C. Finalizada la mineralización, se trasvasaron los mineralizados a matraces de 25 ml, se enrasó con agua desionizada y finalmente se

cuantificaron los minerales por espectrometría de absorción atómica – atomización en llama (18, 21) en un equipo Varian® modelo Spectra AA220®.

Dos alícuotas de 15 - 16 g del digerido pepsínico se colocaron en vasos plásticos con tapa a los que se agregó una bolsa de diálisis conteniendo 18,75 ml de buffer PIPES. El pH del buffer (6,6 a 6,9) se estableció en función de estudios realizados sobre la matriz alimentaria evaluada, con el objeto de obtener un pH final uniforme de $6,5 \pm 0,2$ en el sistema digerido/dializado (20).

Luego de 1 h de digestión/diálisis (cuando el pH alcanzó un valor mínimo de 4,5) se incorporó a cada alícuota en estudio 3,75 ml de una suspensión de bilis-pancreatina; se continuó la incubación durante 2 h a 37°C en un baño con agitación. Finalizada la digestión pancreática, se retiraron las bolsas de los vasos de incubación y se enjuagaron con agua desionizada. Los dializados se vertieron dentro de tubos de ensayo previamente tarados, se registró el peso de los dializados y se mineralizaron con 5 ml de ácido nítrico a 120°C durante 4 h. Finalizada la mineralización, se trasvasaron los mineralizados a matraces de 25 ml y se enrasó con agua desionizada. Los minerales se cuantificaron por espectrometría de absorción atómica – atomización en llama.

El porcentaje de cada mineral (hierro, zinc y calcio) en el dializado se relacionó con su concentración porcentual en el digerido de pepsina. Se obtuvo de esta manera la dializabilidad mineral porcentual.

$$\text{Dializabilidad mineral \%} = \frac{\text{mg de cada mineral en el dializado} \times 100}{\text{mg de cada mineral en el digerido}}$$

La concentración de Fe, Zn y Ca en los distintos productos se estableció mediante una mineralización de 1 g de cada muestra con 10 ml de una mezcla nitro-perclórica (50:50) durante 4 h a 120°C. Finalizada la mineralización, se trasvasaron los mineralizados a matraces de 25 ml, se enrasó con agua desionizada y finalmente se cuantificaron los minerales por espectrometría de absorción atómica.

Se estableció el aporte potencial de cada mineral (AP) en

los distintos productos teniendo en cuenta su concentración y dializabilidad.

$$\text{APFe} = ([\text{Fe}] \times \text{DFe}\%)/100; \text{APCa} = ([\text{Ca}] \times \text{DCa}\%)/100;$$

$$\text{APZn} = ([\text{Zn}] \times \text{DZn}\%)/100$$

Las determinaciones se realizaron por sextuplicado.

Análisis estadístico

Para el estudio estadístico de cada uno de los puntos tratados en el presente trabajo se realizó un Análisis de la Varianza (ANOVA) de un criterio y para las comparaciones a posteriori se utilizó la prueba de Tukey-Kramer con un nivel de significación global del 5%. Se utilizó el software Infostat y se consideraron significativas las probabilidades de error menores al 5% (22).

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de la composición de las harinas de trigo e integral de amaranto y productos elaborados con mezclas de harina de trigo y de amaranto (pan y pastas)

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para las materias primas y productos mezcla. Los niveles de proteína, cenizas, materia grasa y fibra dietaria total están comprendidos entre los señalados en la bibliografía para la semilla de amaranto y la harina de trigo (5, 6, 8, 10, 23, 24).

El contenido de proteína y minerales de la harina integral de amaranto fue significativamente superior (20% más proteínas y 370% más minerales) a la harina de trigo (Tabla 1). La harina integral de amaranto con la que se elaboraron los panes y fideos contuvo 18 veces más hierro, 11 veces más calcio y 3,5 veces más zinc que la harina de trigo utilizada con ese mismo fin (Tabla 2).

TABLA 1
Composición en base seca de las materias primas y productos (g/100 g)

	Proteínas	Cenizas	Lípidos	FDT*
Harina de trigo (HT)	13,37 ± 0,03 ^a	0,68 ± 0,01 ^a	0,30 ± 0,06 ^a	5,00 ± 0,03 ^b
Harina integral de amaranto (HIA)	16,03 ± 0,07 ^d	3,17 ± 0,03 ^f	5,55 ± 0,18 ^d	14,41 ± 0,88 ^e
HT:HIA (80:20)	14,11 ± 0,12 ^c	1,16 ± 0,02 ^c	1,35 ± 0,06 ^b	6,90 ± 0,05 ^d
Pan 100% trigo	13,82 ± 0,18 ^b	2,85 ± 0,01 ^e	0,30 ± 0,03 ^a	4,97 ± 0,06 ^b
Pan 80:20 (HT:HIA)	14,40 ± 0,01 ^c	3,23 ± 0,02 ^f	5,49 ± 0,10 ^d	6,87 ± 0,06 ^d
Fideos 100% trigo	13,88 ± 0,07 ^b	0,88 ± 0,03 ^b	1,53 ± 0,04 ^b	3,58 ± 0,08 ^a
Fideos 80:20 (HT :HIA)	14,30 ± 0,06 ^c	1,27 ± 0,02 ^d	2,13 ± 0,02 ^c	5,71 ± 0,02 ^c

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

FDT* = Fibra dietaria total

TABLA 2
Contenido en base seca de Fe, Ca y Zn de las materias primas y panes (mg/100 g)

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	0,68 ± 0,02 ^a	18,46 ± 0,98 ^a	0,98 ± 0,01 ^a
Harina integral de amaranto (HIA)	12,11 ± 0,73 ^c	205,98 ± 4,48 ^c	3,33 ± 0,04 ^d
HT:HIA (80:20)	2,79 ± 0,11 ^b	48,52 ± 2,93 ^b	1,63 ± 0,02 ^b
Pan 100% trigo	0,90 ± 0,12 ^a	18,75 ± 1,50 ^a	1,07 ± 0,06 ^a
Pan 80:20 (HT:HIA)	3,24 ± 0,29 ^b	50,29 ± 4,01 ^b	1,87 ± 0,04 ^c
Pan 80:20* + F	3,25 ± 0,13 ^b	50,94 ± 2,86 ^b	1,84 ± 0,01 ^c
Pan 80:20* + AC	3,00 ± 0,19 ^b	50,91 ± 2,10 ^b	1,79 ± 0,04 ^c
Pan 80:20* + F + AC	3,24 ± 0,22 ^b	47,67 ± 2,77 ^b	1,87 ± 0,04 ^c
Pan 80:20* + 410 ppm AA	3,08 ± 0,11 ^b	44,20 ± 2,56 ^b	1,83 ± 0,06 ^c
Pan 80:20* + F + 410 ppm AA	3,13 ± 0,19 ^b	44,60 ± 2,57 ^b	1,82 ± 0,04 ^c
Pan 80:20* + 820 ppm AA	3,07 ± 0,18 ^b	48,85 ± 3,96 ^b	1,83 ± 0,01 ^c
Pan 80:20* + F + 820 ppm AA	3,02 ± 0,06 ^b	50,07 ± 1,61 ^b	1,78 ± 0,02 ^c

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

*(HT:HIA)

En la harina mezcla con un reemplazo del 20% de la harina de trigo (HT) por HIA se incrementó el contenido de proteína en un 6%. Se obtuvo también un incremento significativo en cuanto al contenido global de minerales con respecto a la HT (tabla 1): se logró un aumento del 310% en el hierro, 160% en el calcio y un 66% en el zinc (Tabla 2).

Los panes 80:20 (HT:HIA) aportaron, en comparación con el pan 100% trigo, 4% más de proteína. Se incrementó significativamente el aporte de minerales y el de fibra dietaria total. Si bien es recomendable incorporar fibra en la dieta para una adecuada alimentación (por sus efectos protectores a nivel intestinal y para un mejor manejo de los pacientes con diabetes o con hipercolesterolemia), en ella también se incluyen fitatos que disminuyen la biodisponibilidad de minerales esenciales como hierro, calcio y zinc (25). En los panes 80:20 (HT:HIA) se logró incrementar el contenido de hierro 260%, el de calcio 160%

y el de zinc 80%, con respecto al pan 100% trigo (Tabla 2).

En relación con los fideos 100% trigo, los fideos 80:20 (HT:HIA) presentaron un incremento del 3% en el contenido de proteína y aportaron significativamente más fibra (60%) y minerales (50%), resultando superiores en el contenido de hierro, que se incrementó 230%, el de calcio 180% y el de zinc 65% (Tablas 1 y 3).

Disponibilidad de minerales y efecto de los promotores de biodisponibilidad

Dializabilidad porcentual del hierro (DFe%)

La DFe% resultó despreciable en la HIA y muy baja en la mezcla HT:HIA (Tabla 4). El proceso de fermentación panaria incrementó significativamente la DFe%, tanto para el pan 100% trigo como para el pan con la mezcla 80:20 (HT:HIA), respecto a las harinas respectivas.

TABLA 3
Contenido en base seca de Fe, Ca y Zn de las materias primas y fideos (mg/100 g)

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	0,68 ± 0,02 ^a	18,46 ± 0,98 ^a	0,98 ± 0,01 ^a
Harina integral de amaranto (HIA)	12,11 ± 0,73 ^c	205,98 ± 4,48 ^c	3,33 ± 0,04 ^c
HT:HIA (80:20)	2,79 ± 0,11 ^b	48,52 ± 2,93 ^b	1,63 ± 0,02 ^b
Fideos 100% trigo	0,81 ± 0,08 ^a	17,38 ± 0,28 ^a	1,02 ± 0,08 ^a
Fideos 80:20 (HT:HIA)	2,74 ± 0,06 ^b	49,06 ± 1,03 ^b	1,69 ± 0,05 ^b
Fideos 80:20* + AC	2,62 ± 0,04 ^b	48,84 ± 1,25 ^b	1,68 ± 0,02 ^b
Fideos 80:20* + 410 ppm AA	2,75 ± 0,07 ^b	49,14 ± 0,84 ^b	1,59 ± 0,04 ^b
Fideos 80:20* + F + 410 ppm AA	2,69 ± 0,09 ^b	50,68 ± 0,81 ^b	1,66 ± 0,02 ^b
Fideos 80:20* + 820 ppm AA	2,65 ± 0,08 ^b	48,24 ± 0,95 ^b	1,61 ± 0,01 ^b
Fideos 80:20* + F + 820 ppm AA	2,68 ± 0,08 ^b	49,42 ± 0,60 ^b	1,69 ± 0,01 ^b

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05). *(HT:HIA)

TABLA 4
Porcentaje de dializabilidad de Fe, Ca y Zn en materias primas y panes

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	9,88 ± 0,70 ^e	44,09 ± 1,01 ^f	10,05 ± 0,53 ^{c,d,e}
Harina integral de amaranto (HIA)	0,61 ± 0,05 ^a	7,25 ± 0,60 ^a	1,32 ± 0,25 ^a
HT:HIA (80:20)	3,35 ± 0,33 ^b	10,01 ± 0,20 ^b	4,97 ± 0,58 ^b
Pan 100% trigo	15,15 ± 0,70 ^g	40,39 ± 0,80 ^c	13,81 ± 1,46 ^f
Pan 80:20 (HT:HIA)	6,77 ± 1,02 ^c	15,85 ± 1,20 ^c	8,28 ± 1,43 ^c
Pan 80:20* + F	7,47 ± 1,43 ^{c,d}	17,37 ± 1,08 ^c	8,92 ± 0,94 ^{c,d}
Pan 80:20* + AC	13,07 ± 1,77 ^f	20,49 ± 2,14 ^d	19,31 ± 1,27 ^g
Pan 80:20* + F+ AC	16,88 ± 1,69 ^g	22,30 ± 1,21 ^d	21,42 ± 0,84 ^g
Pan 80:20* + 410 ppm AA	6,61 ± 1,08 ^c	20,65 ± 2,28 ^d	9,77 ± 0,91 ^{c,d,e}
Pan 80:20* + F + 410 ppm AA	7,52 ± 1,59 ^{c,d}	21,34 ± 1,53 ^d	9,99 ± 1,17 ^{c,d,e}
Pan 80:20* + 820 ppm AA	8,83 ± 0,40 ^{d,e}	20,56 ± 1,49 ^d	11,22 ± 1,58 ^e
Pan 80:20* + F + 820 ppm AA	10,14 ± 1,28 ^e	20,67 ± 1,52 ^d	10,58 ± 2,58 ^{d,e}

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05). *(HT:HIA)

Al evaluar los valores de DFe% de los panes 80:20, con y sin fitasa, no se evidenció una diferencia significativa al incluir la fitasa en la formulación. Al comparar los valores obtenidos de DFe% de los panes 80:20 con AC, con y sin fitasa, se evidenció una diferencia significativa. Esto podría deberse al efecto acidificante del AC en el proceso de fermentación panaria donde actuaría la fitasa. Este efecto no se observó para las formulaciones que incluyeron los dos niveles de AA en las que se agregó la fitasa, posiblemente por no alcanzarse un pH óptimo para la enzima. El máximo incremento en la DFe% de los panes elaborados con la mezcla se obtuvo agregando AC y fitasas. Para esta mezcla y combinación de promotores, la DFe% fue estadísticamente igual a la del pan 100% trigo. Por lo tanto, la adición de estos promotores contrarrestó el efecto inhibitorio de los componentes presentes en la harina de

amaranto (fitatos y fibra). El AA sólo promovió la dializabilidad del Fe cuando se agregó en mayor cantidad (820 ppm). La presencia de oxidasas en la harina y el proceso térmico de cocción podrían justificar su baja actividad promotora (26).

La DFe% en los fideos 80:20 fue muy baja y mejoró significativamente con la incorporación de AC (Tabla 5). Sin embargo, la DFe% de los fideos 100% trigo fue significativamente superior a la de los fideos elaborados con la mezcla. Ni el AA, ni la fitasa, en los niveles utilizados, mejoraron la DFe%. La ausencia de una etapa de fermentación y las interacciones generadas durante la extrusión explican las diferencias encontradas en la DFe% de los fideos respecto a la de los productos panificados.

TABLA 5
Porcentaje de dializabilidad de Fe, Ca y Zn en materias primas y fideos

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	9,88 ± 0,70 ^f	44,09 ± 1,01 ^f	10,05 ± 0,53 ^c
Harina integral de amaranto (HIA)	0,61 ± 0,05 ^a	7,25 ± 0,60 ^a	1,32 ± 0,25 ^a
HT:HIA (80:20)	3,35 ± 0,33 ^d	10,01 ± 0,20 ^b	4,97 ± 0,58 ^b
Fideos 100% trigo	4,59 ± 0,82 ^e	41,31 ± 2,10 ^e	12,72 ± 1,29 ^d
Fideos 80:20 (HT:HIA)	0,98 ± 0,19 ^{a,b}	28,21 ± 1,56 ^c	4,85 ± 0,74 ^b
Fideos 80:20* + AC	2,71 ± 0,35 ^d	34,23 ± 1,36 ^d	10,27 ± 1,37 ^c
Fideos 80:20* + 410 ppm AA	1,08 ± 0,09 ^{a,b,c}	28,34 ± 1,36 ^c	4,99 ± 0,11 ^b
Fideos 80:20* + F + 410 ppm AA	1,21 ± 0,13 ^{a,b,c}	27,79 ± 1,28 ^c	4,95 ± 0,14 ^b
Fideos 80:20* + 820 ppm AA	1,39 ± 0,31 ^{b,c}	27,96 ± 1,81 ^c	4,98 ± 0,51 ^b
Fideos 80:20* + F + 820 ppm AA	1,76 ± 0,09 ^c	28,12 ± 1,53 ^c	5,07 ± 0,28 ^b

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

*(HT:HIA)

Dializabilidad porcentual del calcio (DCa%)

La máxima DCa% se evidenció en la harina y el pan 100% trigo. El proceso de fermentación del pan incrementó significativamente la DCa% respecto de lo observado en la mezcla 80:20. La incorporación de promotores y sus combinaciones incrementaron aún más la DCa% del pan mezcla 80:20. Si bien se logró incrementar la DCa% en el pan mezcla mediante la incorporación de fitasa, no se evidenció una mejora estadísticamente significativa. Este efecto también se observó en el pan 80:20 al incorporar a la formulación con AC la enzima. Esto podría deberse a que el efecto de la fitasa no logró clivar la suficiente cantidad de uniones fosfato de los fitatos y liberar el calcio para su disponibilidad.

Con respecto a los fideos, la DCa% de la mezcla 80:20 fue significativamente menor que la de los fideos 100% trigo (Tabla 5), debido a la fibra aportada por la HIA y a la ausencia de fermentación. La mayor DCa% en los fideos 80:20 se observó en la formulación que incluyó AC.

Dializabilidad porcentual del zinc (DZn%)

La DZn% fue baja en la HIA (Tabla 4). El proceso de fermentación del pan incrementó significativamente la DZn% respecto a lo observado en la mezcla HT:HIA (80:20). Se logró mejorar significativamente la DZn% respecto del pan 100% trigo mediante la incorporación de AC y [AC + fitasas] en la formulación del pan elaborado con la mezcla de harinas. Al igual que lo observado para el hierro, la adición de estos promotores contrarrestó el efecto inhibitorio de los componentes presentes en la harina de amaranto (fitatos y fibra). El AA sólo promovió la dializabilidad del Zn cuando se agregó en mayor cantidad (820 ppm). La presencia de oxidasas en la harina y el proceso térmico de cocción podrían justificar su baja actividad (26).

La DZn% de los fideos 100% trigo (tabla 5) fue significativamente superior a la de los fideos 80:20 debido a la presencia de componentes con efecto inhibitorio propios de la HIA; la DZn% aumentó significativamente en los fideos 80:20 al incorporar AC a la formulación. La utilización de

AA no afectó significativamente la DZn% respecto a los fideos 80:20 o la mezcla 80:20, pudiéndose deber esto a la degradación del promotor en el proceso de elaboración de las pastas, su almacenamiento y cocción.

Aporte potencial de hierro (APFe)

El APFe fue 29% superior en la mezcla 80:20 respecto a la HIA (Tabla 6); se observó un incremento significativo del APFe debido a la fermentación panaria. El máximo incremento

en el APFe se obtuvo para el pan 80:20 que incluyó como promotores AC y fitasa. En esta formulación el APFe fue significativamente superior al de los panes 80:20 y 100% trigo.

El APFe en los fideos fue considerablemente inferior al de los panes (Tabla 7). La formulación que incluyó AC presentó un APFe significativamente superior al de los fideos elaborados con HIA y HT; su aporte potencial fue un 90% mayor al de los fideos 100% trigo.

TABLA 6
Aporte potencial de Fe, Ca y Zn en materias primas y panes (mg/100 g)

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	0,07 ± 0,01 ^a	8,14 ± 0,19 ^{b,c}	0,10 ± 0,01 ^b
Harina integral de amaranto (HIA)	0,07 ± 0,01 ^a	14,93 ± 1,23 ^g	0,04 ± 0,01 ^a
HT:HIA (80:20)	0,09 ± 0,01 ^{a,b}	4,86 ± 0,10 ^a	0,08 ± 0,01 ^{a,b}
Pan 100% trigo	0,14 ± 0,01 ^b	7,57 ± 0,15 ^b	0,15 ± 0,02 ^c
Pan 80:20 (HT:HIA)	0,22 ± 0,03 ^{c,d}	8,07 ± 0,61 ^{b,c}	0,16 ± 0,03 ^{c,d}
Pan 80:20* + F	0,24 ± 0,05 ^{c,d}	8,74 ± 0,55 ^{b,c,d}	0,16 ± 0,02 ^{c,d}
Pan 80:20* + AC	0,39 ± 0,05 ^f	10,43 ± 1,09 ^f	0,35 ± 0,02 ^f
Pan 80:20* + F + AC	0,55 ± 0,06 ^g	10,63 ± 0,58 ^f	0,40 ± 0,02 ^g
Pan 80:20* + 410 ppm AA	0,20 ± 0,03 ^c	9,13 ± 1,01 ^{c,d,e}	0,18 ± 0,02 ^{c,d,e}
Pan 80:20* + F + 410 ppm AA	0,24 ± 0,05 ^{c,d}	9,52 ± 0,63 ^{d,e,f}	0,18 ± 0,02 ^{c,d,e}
Pan 80:20* + 820 ppm AA	0,27 ± 0,01 ^{d,e}	10,04 ± 0,73 ^{e,f}	0,21 ± 0,03 ^e
Pan 80:20* + F + 820 ppm AA	0,31 ± 0,04 ^e	10,35 ± 0,76 ^{e,f}	0,19 ± 0,05 ^{d,e}

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

*(HT:HIA)

TABLA 7
Aporte potencial de Fe, Ca y Zn en materias primas y fideos (mg/100 g)

	Fe	Ca	Zn
Harina de trigo (HT)	0,07 ± 0,01 ^c	8,14 ± 0,19 ^b	0,10 ± 0,01 ^c
Harina integral de amaranto (HIA)	0,07 ± 0,01 ^c	14,93 ± 1,23 ^d	0,04 ± 0,01 ^a
HT:HIA (80:20)	0,09 ± 0,01 ^d	4,86 ± 0,10 ^a	0,08 ± 0,01 ^b
Fideos 100% trigo	0,04 ± 0,01 ^{a,b}	7,18 ± 0,37 ^b	0,13 ± 0,01 ^d
Fideos 80:20 (HT:HIA)	0,03 ± 0,01 ^a	13,84 ± 0,77 ^{c,d}	0,08 ± 0,01 ^b
Fideos 80:20* + AC	0,07 ± 0,01 ^c	16,72 ± 0,67 ^e	0,17 ± 0,02 ^e
Fideos 80:20* + 410 ppm AA	0,03 ± 0,01 ^a	13,93 ± 0,67 ^{c,d}	0,08 ± 0,01 ^b
Fideos 80:20* + F + 410 ppm AA	0,03 ± 0,01 ^a	14,08 ± 0,65 ^{c,d}	0,08 ± 0,01 ^b
Fideos 80:20* + 820 ppm AA	0,04 ± 0,01 ^{a,b}	13,49 ± 0,88 ^c	0,08 ± 0,01 ^b
Fideos 80:20* + F + 820 ppm AA	0,05 ± 0,01 ^b	13,90 ± 0,76 ^{c,d}	0,09 ± 0,01 ^{b,c}

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas (p<0,05).

*(HT:HIA)

El escaso efecto del AA en la disponibilidad y aporte potencial de Fe en panes y fideos se atribuye a la degradación del promotor durante los procesos de elaboración de ambos productos (amasado, horneado y almacenamiento para los panes, y extrusión, almacenamiento y cocción para los fideos).

Aporte potencial de calcio (APCa)

El APCa de la HIA fue significativamente superior al de la HT (Tabla 6). A pesar de que la DCa% evaluada para HIA fue muy inferior a la medida para la HT, prevaleció el contenido superior de calcio presente en la HIA.

La fermentación del pan elevó significativamente el APCa respecto a la mezcla HT:HIA (80:20). Un reemplazo del 20% de HT por HIA en los panes elevó un 7% el APCa respecto al pan 100% trigo. El máximo APCa se obtuvo para el pan 80:20 con AC y [AC + fitasa]. La incorporación de los promotores en la formulación evidenció diferencias significativas en el APCa respecto del pan 80:20.

En los fideos 80:20, el APCa fue estadísticamente superior al observado en los fideos 100% trigo (Tabla 7). Aún cuando el APCa de los fideos 80:20 con AC fue significativamente superior a los fideos 100% trigo y a las distintas formulaciones de fideos, su contribución para cubrir los requerimientos diarios de Ca es muy baja.

Aporte potencial de zinc (APZn)

A pesar de su mayor contenido de Zn, la HIA tuvo un APZn significativamente menor zinc que la HT. El efecto de la fermentación elevó significativamente el APZn del pan respecto de la mezcla HT:HIA (80:20) (Tabla 6). Esto se observó también al comparar la HT con el pan 100% trigo. El máximo efecto de los promotores de absorción se evidenció con la combinación AC y fitasa. El APZn se incrementó un 160% respecto al pan 80:20. No se evidenciaron diferencias significativas del APZn en los panes mezcla en los cuales se incorporó AA (ambos niveles), con o sin fitasa, evidenciando la labilidad térmica del AA. En los fideos, el APZn fue muy bajo (Tabla 7). El máximo efecto se logró con el agregado de AC a la formulación, significativamente superior a los fideos 100% trigo y a las diferentes formulaciones evaluadas.

CONCLUSIONES

La formulación de los productos mezcla mejoró significativamente el contenido de minerales, lípidos y fibra dietaria total respecto de los productos 100% trigo; el beneficio de la HIA en el aporte proteico fue menor.

La introducción de la HIA en los productos panificados fermentados, con la adición de AC y fitasas permite obtener importantes ventajas nutricionales, constituyendo un buen aportador de Fe y Zn, aunque no de Ca..

Los fideos 80:20, a pesar de contener un 50% más de minerales respecto del producto 100% trigo, aportan muy poco hierro, calcio y zinc biodisponibles.

La utilización de la HIA en la elaboración de pastas requeriría mejorar la formulación de los productos para optimizar su aporte mineral.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (Proyecto PICTR 0110) y por la Universidad de Buenos Aires (Proyecto UBACyT B071).

REFERENCIAS

1. Becerra R. El amaranto: Nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. Boletín Biodiversitas [publicación periódica en línea]. Disponible en: URL: <http://www.conabio.gob.mx/biodivesitas/amaranto/html>. [Acceso: 30 de julio de 2002].
2. Itúrbide G, Gispert M. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. 1° ed. Roma: FAO. 1992; p. 91-99, 124-125, 143-146.
3. Pantanelli A. Prometedora resurrección del amaranto. Revista Alimentos Argentinos [publicación periódica en línea]. Disponible en: URL: http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_18/18_07_amaranto.htm. [Acceso: 31 de agosto de 2005].
4. Brenner DM, Baltensperger DD, Kulakow PA, Lehmann JW, Myers RL, Slabbert MM, et al. Genetic resources and breeding of *amaranthus*. En: Askew GR, Bliss FA, Gilbert M, editors. *Plant Breeding Reviews*. 1° ed. New York: John Wiley & Sons Inc. 2000; p. 229-231.
5. Teutónico R, Knorr D. Amaranth: composition, properties, and applications of a rediscovered food crop. *Food Tech* 1985; 39(4):49-61.
6. Bertoni MH. Amarantos graníferos y hortícolas cultivados. Un aporte sobre su composición química, valor nutritivo y utilización. *An Soc Cient Argent*. 1997; 227:5-20.
7. Tapia ME. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 1° ed. Santiago de Chile: FAO. 1990; p. 66-77, 113-116, 130-134.
8. Moreno R. Valor nutritivo y usos en alimentación humana de algunos cultivos autóctonos subexplotados de Mesoamérica. 1° ed. Santiago de Chile: FAO. 1993; p. 107-111.
9. Wood Irving D, Betschart A, Sanders R. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. *J Food Sci*. 1981; 46(4): 1170-1174.
10. Bertoni MH, Gómez RG, Cattáneo P, Covas G. Estudios sobre semillas de especies americanas de *amaranthus* – II – Harinas de extracción de *A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. mantegazzianus*. *An Asoc Quim Arg*. 1984; 72(6):597-605.
11. Schricker BR, Miller DD, Rasmussen RR, Van Campen D. A comparison of *in vivo* and *in vitro* methods for determining availability of iron from meals. *Am J Clin Nutr*. 1981; 34:2257-2263.
12. Ummadi P, Chenoweth WL, Uebersax MA. The influence of extrusion processing on iron dialyzability, phytates and tannins in legumes. *Journal of Food Processing and Preservation*. 1995; 19:119-131.
13. Shen L, Luten J, Robberecht H, Bindels J, Deelstra H. Modification of an *in vitro* method for estimating the bioavailability of zinc and calcium from foods. *Zlebensm Unterforsch*. 1994; 199:442-445.
14. Shen L, Robberecht H, Van Dael P, Deelstra H. Estimation of the bioavailability of zinc and calcium from human, cow's, goat and sheep milk by an *in vitro* method. *Biol Trace Elem Res*. 1995; 49:107-118.
15. García R, Alegría A, Barberá R, Farré R, Lagarda MJ. Dializability of iron, zinc and copper for different types of infant formula marketed in Spain. *Biol Trace Elem Res*. 1998; 65:07-17.

16. Bosscher D, Van Caillie-Bertrand M, Robberecht H, Van Dyck K, Van Cauwenbergh R, Deelstra H. In vitro availability of calcium, iron and zinc availability from first age infant formula and human milk. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2001; 32:54-58.
17. Kernefick S and Cashman KD. Investigation of an *in vitro* model for predicting the effect of food components on calcium availability from meals. *Int J Food Sci Nutr.* 2000; 51:45-54.
18. AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 17th edition. Vol. I y II. Published by the Association of Official Analytical Chemist, Inc. Gaithersburg, Maryland, USA. 2000.
19. Wolfgor R, Drago S, Rodriguez V, Pellegrino N, Valencia M. *In vitro* measurement of available iron in fortified foods. *Food Res Int.* 2002; 35:85-90.
20. Miller DD, Schricker BR, Rasmussen RR, Van Campen D. An *in vitro* method for the estimation of iron availability from meals. *Am J Clin Nutr.* 1981; 34:2248-2256.
21. Perkin-Elmer Corp. (Estados Unidos). Calcium, iron and zinc: Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Norwalk CI; 1971.
22. Winer BJ, Brown DR, Michels KM. Cap. III. En: Statistical principles in experimental design. 3° ed. New York: Mc Graw Hill. 1991; p. 74 - 215.
23. Becker R, Wheeler E, Lorenz K, Stafford A, Grosjean O, Betschart A. A compositional study of amaranth grain. *J Food Sci.* 1981; 46:1175-1180.
24. Souci Fachmann Kraut. Cereals. En: Food composition and nutrition tables. 5° ed. Stuttgart: CRC Press. 1994; p. 499, 500, 561, 562.
25. Caballero B. Interacciones entre los componentes de la dieta. *Arch Latinoamer Nutri.* 1988; 38(3):656-684.
26. Pylar EJ. Water. En: Baking science and technology. 1° ed. Chicago: Siebel Publishing Company. 1973; p. 546-585.

Recibido: 04-08-2006

Aceptado: 05-03-2007